

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- mit geänderten Ansprüchen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

aufgenommen ist, die auf der Oberfläche der Struktur (7) befestigt sind. Die Erfindung findet Anwendung bei einem piezoelektrischen Dehnungsaktuator, der zur Vibrationskontrolle in Strukturen eingesetzt ist. Eine andere, alternative Lösung nimmt Bezug auf die Unterdrückung von Vibrationen zwischen Hauptgetriebe eines Hubschrauberrotors und der Zellenstruktur des Cockpits. Der Ort der Krafteinleitung des Abtriebslements (18, 19, 180, 190; 35, 36) ist gegenüber der entsprechenden Endplatte des Piezostapels (22, 220; 31, 32, 33) in axialer Richtung (X) beabstandet.

Piezoelektrischer Dehnungsaktuator

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Dehnungsaktuator gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und dem des Nebenanspruchs 8.

5

Zur Vibrationskontrolle und zur Beeinflussung von Vibrationen in Strukturen ist die Verwendung von d31-Piezoplaten oder d31-Piezosegmenten bekannt. d31-Piezoplaten nutzen die elastische Querkontraktion des piezoelektrischen Werkstoffes. Mehrere Piezoplaten oder -segmente werden nachfolgend kurz als Piezostapel bezeichnet. Ein Piezostapel wird von mehreren Piezoelementen, mindestens 2 Piezoelementen, gebildet. Mit den vorgenannten d31-Piezoelementen werden beispielsweise Dehnungen in Trägerstrukturen für Hubschraubergetriebe eingeleitet, um damit die Übertragung von Körperschall auf die Hubschrauberzelle zu unterdrücken. Dabei sind die d31-Piezoelemente entsprechend ihrer Dehnungsrichtung, die parallel zu der Oberfläche der d31-Elemente wirkt, flächig in die Oberfläche der Trägerstrukturen integriert; z.B. mittels einer Klebetechnik.

15

Im Vergleich dazu wirkt die Dehnung in den bekannten d33-Piezoelementen senkrecht zur Oberfläche der Elemente, denn d33-Piezoplaten nutzen die Dehnung des piezoelektrischen Werkstoffes in Richtung des angelegten Feldes.

20

Die DE 198 13 959 A1 verfolgt das Ziel, eine Einrichtung zur Körperschallunterdrückung bereitzustellen, die die Übertragung von Maschinenvibrationen und -schwingungen durch eine Trägerstruktur auf eine Zellenstruktur eines Cockpits bei möglichst einfacher Bauweise und mit verhältnismäßig geringem Integrationsaufwand wirkungsvoller reduziert. Die DE 198 13 959 A1 lehrt, dass die Einrichtung zur Körperschallunterdrückung zumindest einen Piezoaktuator beinhaltet, der Schwingungen in die Trägerstruktur einleitet, um den Körperschall-Übertragungspfad auf die zu isolierende Struktur im Wesentlichen zu sperren und

25

um die Schallerregung mittels der vorhandenen und erregten Systemmaßen des Schallerzeugers wirkungsvoller zu kompensieren. Diese technische Lehre ist nicht auf eine Anwendung im Hubschrauberbau eingeschränkt. Sie kann in allen Bereichen des Maschinenbaus eingesetzt werden, wo eine Einrichtung zur Körperschallunterdrückung notwendig wird.

Im Gegensatz zu anderen, bekannten Dehnungsaktuatoren realisiert der Piezoaktor realisiert die Krafteinleitung nicht mehr annähernd punktuell in die Trägerstruktur, sondern über eine relativ große Oberfläche der Trägerstruktur. Die Trägerstruktur kann beispielsweise zwischen Hauptgetriebe eines Rotors und einer Zellenstruktur des Cockpits eines Hubschraubers angeordnet sein. Die Trägerstruktur wäre in diesem Fall als eine oder mehrere Streben (auch Getriebestrebe genannt). Der Piezoaktor ist im Wesentlichen entlang des gesamten Umfangs der Strebe angeordnet und hat eine definierte Ausdehnung in der axialen Richtung der Strebe. Die Krafteinleitung vom Piezoaktor nach DE 198 13 959 A1 erfolgt über dessen Fläche.

Der Wirkungsgrad der Krafteinleitung ist dort durch die effektiv zu bedeckende Fläche der Strebe begrenzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen piezoelektrischen Dehnungsaktor für d33-Piezoelemente zu schaffen, mit dem sich Vibrationen in Strukturen unterdrücken lassen und weiterhin den Wirkungsgrad der Krafteinleitung eines Piezoaktors deutlich zu erhöhen trotz gegensätzlicher Tendenz einer Verkleinerung des Bauvolumens des Piezoaktors.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 sowie alternativ durch die Merkmale des Nebenanspruchs 8 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Eine erfindungsgemäße Lösung beruht darauf, dass ein d33-Piezoelement in Form eines Stapels in einem mechanischen Rahmen eingespannt ist, der auf der Oberfläche der Struktur befestigt ist. Neben einer hohen spezifischen, mechanischen Leistung lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Dehnungsaktuator auch ein guter Wirkungsgrad erzielen. Ebenfalls vorteilhaft ist die Aufbringung einer in den Aktuator integrierten, mechanischen Vorspannung, mit der sich die für Piezoelemente so kritischen Zugbelastungen vermeiden lassen. Optional können in den Rahmen Mittel integriert sein, mit denen sich vorteilhaft Hubübersetzungen oder Steifigkeitstransformationen erzielen lassen.

Bei einer weiteren erfindungsgemäßen Lösung gelingt es, eine Wirkungsgradverbesserung der Krafteinleitung für den Piezoaktuator zu erzielen, in dem der Abstand der Aufsetzflächen zweier Abtriebselemente eines Piezoaktuators gegenüber einer entsprechenden Endplatte des Piezostapels in axialer Richtung zum Strebenende deutlich erhöht ist. Die Abtriebselemente des mechanischen Rahmens bilden die Kraftübertragungsmittel vom Piezoaktuator zur Strebe. Der damit deutlich vergrößerte Strebenabschnitt zwischen den Aufsetzflächen der beiden Abtriebselemente besitzt eine geringere Steifigkeit, in dessen Folge für die Dehnung dieses Strebenabschnitts eine geringere Kraft ausreichend ist als bei einer vergleichbaren Anordnung eines Piezoaktuators, wo der Abstand der Aufsetzflächen der Abtriebselemente im Wesentlichen der Länge des Piezostapels entspricht. Das Piezoelement verwendet auch die d33-Piezoelemente.

Anhand der Zeichnung werden nachstehend Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Dehnungsaktuator in geschnittener Ansicht,

Fig. 2 einen Dehnungsaktuator mit Hubübersetzung,

Fig. 3 eine alternative Ausführung eines Dehnungsaktuators mit Hubübersetzung,

Fig. 4 ein Schema einer Strebe mit axial beabstandeten Abtriebselementen eines Piezoaktuators,

5 Fig. 5 einen Ausschnitt einer Strebe mit manschettenförmigen Abtriebselementen eines Piezoaktuators, und

Fig. 6 alternative Ausgestaltung des Abtriebselements mit Aussparungen.

Der in Fig. 1 gezeigte Dehnungsaktuator 1 ist auf der Oberfläche einer Struktur 7
10 starr befestigt und besteht aus einem d33-Piezostapel 2, zwei Endplatten 3, zwei Abtriebselementen 4 und einem Vorspannelement 6.

Der d33-Piezostapel 2 ist so in seinem mechanischen Rahmen angeordnet, dass seine Ausdehnungsrichtung parallel zur Oberfläche der Struktur 6 verläuft, in welcher der Dehnungsaktuator 1 seine piezoelektrisch erzeugten Dehnungen überträgt. Der d33-Piezostapel beansprucht 1/3 des Materialvolumens eines d31-Piezostapels für eine gleichwertige aktive Dehnung.

Im Ausführungsbeispiel der Fig.1 ist der mechanische Rahmen aus den beiden
20 auf der Struktur 6 starr befestigten Abtriebselementen 4 gebildet. Dazu sind die Abtriebselemente 4 so auf der Oberfläche der Struktur 7 befestigt, dass ihre Abtriebsfläche 5 parallel zu der jeweiligen Endplatte 3 des Piezostapels 2 ausgerichtet ist. Die Befestigung der Abtriebselemente 4 auf der Struktur 6 kann mittels bekannten Verbindungstechniken erfolgen; beispielsweise mittels Kleben.

25 Die Abtriebselemente 4 können mit ihrer Befestigungsfläche verschieden gekrümmten oder ebenen Strukturoberflächen angepasst sein. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Struktur ein Rohr mit einer kreisförmig gekrümmten Oberfläche.

che. Die Länge des Piezoaktuators entspricht der Länge des zu dehnenden Strebenabschnitts.

Der Piezostapel 2 ist zwischen seinen zwei Endplatten 3 aufgenommen und mit einem Vorspannelement 6 auf mechanischer Druckvorspannung gehalten. Mögliche auf den Dehnungsaktuator 1 einwirkende, schädigende Zugbelastungen werden von dieser Druckvorspannung kompensiert und können dadurch nicht auf den Piezostapel 2 einwirken.

Das Vorspannelement 6 kann beispielsweise - wie im Ausführungsbeispiel der Fig.1 symbolisch angedeutet ist - mit einer oder mehreren mechanisch wirkenden Zugfedern realisiert sein. Es ist aber auch möglich, die Endplatten 3 als elastische Platten auszubilden und den Piezostapel 2 mit zusammengedrückten Endplatten 3 unter Druckvorspannung in den mechanischen Rahmen einzusetzen.

Der in Fig. 2 gezeigte Dehnungsaktuator 1 mit Hubübersetzung entspricht dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel bis auf die nachfolgend genannten Abweichungen. Die Endplatten 3 des Piezostapels 2 sind nicht direkt, sondern über einen biegeweichen Drucksteg 8 mit den Abtriebsflächen 5 der Abtriebselemente 4 verbunden und die Abtriebselemente 4 weisen einen nach innen einseitig offenen, parallel zur Oberfläche der Struktur 7 verlaufenden Schlitz 9 auf. Weiterhin sind die beiden Abtriebselemente 4 mit einer dehnungssteifen Abstützstange 11 starr miteinander verbunden, die jeweils an das freie Ende 10 der Abtriebselemente 4 angreift. Anstelle von einer Abstützstange 11 können auch zwei parallele Abstützstangen 11 beidseitig zum Piezostapel 2 angeordnet verwendet werden, wie es Fig.2 mit einer in der Zeichnung erkennbaren Abstützstange 11 entnehmbar ist.

Die biegeweichen Druckstege 8, Schlitz 9 und Abstützstange 11 bilden an jedem Abtriebselement 4 drei Gelenke "a", "b" und "c", um die sich Hebelabschnitte der Abtriebselemente 4 drehen können und eine Hubübersetzung in dem Dehnungs-
saktuator 1 erzeugen.

Fig. 3 zeigt einen Dehnungsaktuator mit Hubübersetzung in einer zu Fig. 2 alternativen konstruktiven Ausführung der Abtriebselemente 4 und Gelenke "a", "b" und "c". Die Wirkung von Hebelabschnitten um die Gelenke "a", "b" und "c" entspricht im Prinzip dem vorangehend zu Fig. 2 beschriebenen Ausführungsbeispiel.

Die Abtriebselemente 4 sind hier mit einem im Gelenk "a" gelagerten Hebel 12 ausgebildet. Mit einem ersten Hebelabschnitt 13 beabstandet vom Gelenk "a" ist auf dem Hebel 12 das Gelenk "b" angeordnet, an welches der Piezostapel 2 mit einem Abtriebssteg 14 angreift.

Mit einem zweiten Hebelabschnitt 15 beabstandet vom Gelenk "b" ist auf dem Hebel 12 Gelenk "c" angeordnet. An Gelenk "c" greift die Abstützstange 11 an.

Fig. 4 zeigt schematisch eine Strebe 16. Die Strebe kann beispielsweise ein Stahlrohr mit einer jeweils an dem Ende angeschweißten Befestigungsöse sein. Solch eine Strebe wird beispielsweise in 4-facher Ausführung verwendet, um das Hauptgetriebe des Rotors eines Hubschraubers mit der Zellenstruktur des Cockpits des Hubschraubers verbinden. Das Hauptgetriebe befindet sich dabei oberhalb der Decke der Zellenstruktur des Cockpits. Die Verbindung zwischen beiden erfolgt an 4 Orten durch jeweils eine Strebe 16. Das Hauptgetriebe des Rotors ist eine der Hauptquellen für die Lärmerzeugung im Cockpit. Da die Strebe 16 an der Schnittstelle zwischen Hauptgetriebe und Zellenstruktur sitzt, ist es zweckmäßig, an der Strebe elastische Formänderungen zu erzeugen, die die über die Strebe eingeleiteten Kräfte im Wesentlichen kompensieren können. Dies erfolgt beispielsweise

durch eine steuerbare Formänderung (Dehnung oder Kontraktion) der Strebe 16 in ihrer axialen Richtung X. Die gesteuerte, elastische Formänderung wird durch den Piezoaktuator 17 realisiert, der in einem bestimmten Abschnitt D der Strebe eine Formänderung, insbesondere eine Längenänderung in axialer Richtung X veranlasst. Auch bei der Strebe 16 nach Fig. 4 sind je Piezostapel zwei Abtriebselemente 18, 19 angeordnet. Die Abtriebselemente 18, 19 sind jedoch nicht unmittelbar nach der Endplatte 20, 21 eines Piezostapels 22 mit der Oberfläche der Strebe 16 verbunden, sondern die Aufsetzflächen 23, 24 der Abtriebselemente 18, 19 sind in axialer Richtung X gegenüber der Endplatte 20, 21 des Piezostapels 22 beabstandet. Der Piezostapel 22 muss nicht unmittelbar auf der Oberfläche der Strebe anliegen. An der Aufsetzfläche 23, 24 wird die vom Piezostapel 22 erzeugte Kraft auf die Strebe 16 eingeleitet. Diese Kraft erzeugt eine elastische Formänderung in einem Abschnitt D der Strebe 16 zwischen den beiden Aufsetzflächen 23, 24.

Der Abschnitt D entlang des Strebenumfangs umfasst die zutreffende abschnittsweise, räumliche Struktur der Strebe, kurz Abschnitt D genannt. Die dortige elastische Formänderung kompensiert die Vibrationskraft in der Strebe 16, und zwar im Bereich der Schnittstelle Strebe-Zellenstruktur.

Der piezoelektrische Dehnungsaktuator 17 wird aus d33-Piezoelementen gebildet, die zu einem Piezostapel 22 angeordnet sind. Die beiden Enden des Piezostapels 22 werden durch Endplatten 20, 21 begrenzt. An diesen Endplatten 20, 21 sind die Abtriebselemente 18, 19 angeordnet. Der Ort der Krafteinleitung eines Abtriebselements 18, 19 auf der Strebe 16 ist gegenüber der Endplatte 20, 21 in axialer Richtung X hin zur Befestigungsöse 160, 161 beabstandet. Die Gewinnung eines solchen Abstandes ist verbunden mit der Gewinnung eines beidseitig an den Endplatten des Piezostapels angreifenden Hebelarmes. Je ein Hebelarm E, F wird gebildet durch das Abtriebselement 18, 19. Die Hebelarme E, F vergrößern den

Abschnitt D um deren Länge, denn ursprünglich entsprach der Abschnitt D nur der Länge des Piezostapels.

Die bei einer Ansteuerung des piezoelektrischen Dehnungsaktuators beispielsweise erzeugte Zugkraft wird über die Abtriebsfläche der Abtriebselemente in die Strebe eingeleitet. Der zwischen den Abtriebsflächen 23, 24 liegende Abschnitt D der Strebe 16 wird somit einer gesteuerten Formänderung in axialer Richtung X ausgesetzt. Dabei handelt es sich um eine elastische Formänderung. Gegenüber der vorangehend beschriebenen Lösung nutzt diese alternative Lösung die geringere Steifigkeit eines vergrößerten Strebenabschnittes. Damit wird der Wirkungsgrad der Krafteinleitung eines Piezoaktuators 17 deutlich erhöht. Es wird somit möglich, einen deutlich kleineren Piezostapel einzusetzen, ohne einen Wirkungsgradverlust hinnehmen zu müssen.

In Abhängigkeit einer Anordnung der Piezostapel entlang des Umfangs der Strebe kann eine vielachsige Beeinflussung der Formänderung des bezeichneten Abschnitts D der Strebe 16 gesteuert werden.

Die in Fig. 4 gezeigte Anordnung kann beispielsweise auch in den Innenraum einer rohrförmigen Strebe angeordnet werden.

Wie Fig. 4 weiterhin zeigt, wird diese elastische Formänderung des Abschnitts D mittels einer Regeleinrichtung 25 geregelt. Die Regeleinrichtung hat im Bereich jedes Abtriebselements 18, 19 vorzugsweise in Nähe der Aufsetzfläche 23, 24 einen Sensor 26, der ein Signal über die quantitative Größe der vorliegenden Vibrationskräfte ermittelt und an die Regeleinrichtung liefert. Die Regeleinrichtung 25 regelt den Piezostapel 22 so, dass vom Piezostapel eine Kraft erzeugt und über die Abtriebselemente 18, 19 auf die Strebe 16 eingeleitet wird, zur Erzeugung einer elastischen Formänderung des Strebenabschnitts D.

Der Abstand D zwischen den Aufsetzflächen 23, 24 kann veränderlich einstellbar gemacht werden, indem mindestens ein Hebelarm E, F vergrößerbar und verkleinerbar ausgebildet ist.

5

Die voranstehenden Erläuterungen gelten analog für den Piezoaktuator 170 in Fig. 4 mit den Abtriebselementen 180, 190 und den Piezostapel 220 mit den Endplatten 200, 210.

10

Fig. 5 zeigt ausschnittsweise ein Ausführungsbeispiel für eine Strebe 30, wobei die beiden Befestigungsösen an den Enden der Strebe 30 nicht dargestellt sind.

15

Fig. 5 zeigt drei Piezostapel 31, 32, 33, die mit den Abtriebselementen 35, 36 einen Piezoaktuator 34 bilden. Diese Piezostapel 31, 32, 33 sind beispielsweise um 120° gegeneinander versetzt. Jeder der Piezostapel kann gegenüber der Oberfläche der Strebe beabstandet sein. Sie können jedoch auch auf der Oberfläche der Strebe 30 angeordnet sein. Ersteres wird im Beispiel gezeigt.

20

Die axiale Achse der Piezostapel ist in Richtung der axialen Achse X der Strebe 30 ausgerichtet. Jeder der Piezostapel ist zwischen zwei Abtriebselementen 35, 36 angeordnet. Die beiden je einen Piezostapel 31, 32, 33 greifenden Abtriebselemente 35, 36 haben jeweils eine Ringfassung 37, 38 ausgebildet, die die Strebe 30 form- und kraftschlüssig entlang deren Umfangsfläche umschließt. Ausgehend von der Ringfassung 37, 38 öffnet sich das Abtriebselement 35, 36 glockenförmig wie eine Manschette, die vom Rand der Ringfassung beginnend bis zu ihrem ringförmigen Rand von der Strebe beabstandet ist. Diese Gestalt wird als ringförmige Manschette 39, 40 bezeichnet. Auf dem Rand 41 der Manschette 39 liegt jeweils ein Ende der Piezostapel 31, 32, 33 auf. Das jeweils andere Ende der drei Piezostapel 31, 32, 33 liegt am Rand 42 der Manschette 40 auf.

25

Die Ringfassung 37, 38 der Manschette 39, 40 ist von ausreichender Steifigkeit und Festigkeit, die einer Aufsetzfläche 370, 380 entspricht, die kraft- und form-schlüssig in Umfangsrichtung mit der Oberfläche der Strebe 30 verbunden ist. Über die Aufsetzfläche 370, 380 erfolgt die Einleitung der von den Piezostapeln 31, 32, 33 erzeugten Kräfte. Ein solches konstruktiv ausgebildetes Abtriebselement 35, 36 gestattet eine Wirkung in einer Vielzahl von Raumachsen. Es bestehen somit variablere Gestaltungsmöglichkeiten der Krafteinleitung in die Strebe 30. Die Kräfte und Biegemomente, die in die Strebe 30 eingeleitet werden, können zu einer Auslenkung in longitudinaler (axialer) Richtung, zu einer lateralen Biegeauslenkung in einer beliebigen Richtung als auch zur Torsion der Strebe 30 eingesetzt werden.

Diese elastische Formänderung betrifft auch bei der Strebe 30 einen Strukturbereich entlang des Abschnitts D.

Durch die Verwendung von mindestens zwei um die Strebe angeordneten Piezostapeln kann, bei geeigneter Ansteuerung der einzelnen Piezostapel, die Strebe in longitudinaler und lateraler Richtung ausgelenkt werden. Eine entsprechende Steuer- oder Regeleinrichtung ist bei Fig. 5 nicht dargestellt.

Es ist auch möglich, durch schräges Einsetzen der Piezostapel, d.h. eine zur Längsachse X der Strebe 30 gekippte Anordnung mindestens eines Piezostapels, eine Torsionskraft einzuleiten.

Fig. 6 zeigt eine mögliche weitere Ausgestaltung eines Abtriebselements. Es wird ein einzelnes Abtriebselement 360 ohne Strebe und ohne Piezostapel gezeigt. Das Abtriebselement 360 wird in Richtung der axialen Achse X einer Strebe geführt und mittels ihrer Ringfassung 390 an der Oberfläche der Strebe befestigt. An

der Ringfassung ist eine Manschette 400 ausgebildet. Diese Manschette 400 weist Aussparungen 401 auf, so dass Gewicht des Abtriebslements gespart werden kann. Die Manschette 400 hat beispielsweise drei Arme ausgebildet, die zueinander im Winkel von 120° angeordnet sein können. Diese drei Arme der Manschette 400 werden an ihrem Ende durch einen Ring 420 verbunden und begrenzt. Dieser Ring 420 bildet den Rand der Manschette 400. Auf dem Rand der Manschette wird jeweils ein Ende eines Piezostapels angeordnet.

Nach einer weiteren Ausgestaltung (nicht dargestellt) ist es auch möglich, ein Abtriebslement 360 partiell in Teilabtriebslemente zu unterteilen. Hierzu werden in einer Richtung entlang des Umfangs einer Strebe segmentweise nacheinander Teilabtriebslemente formschlüssig miteinander angeordnet und verbunden. Bei Blickrichtung in X-Achse ist ein Abtriebslement in einzelne (keilförmige) Segmente teilbar, die um die X-Achse angeordnet sind. Somit wird das Abtriebslement segmentweise aus Teilabtriebslementen zusammengesetzt. Beispielsweise das Abtriebslement nach Fig. 5 könnte bei drei Piezostapeln aus drei Teilabtriebslementen zusammengesetzt sein. Diese Anordnung von Teilabtriebslementen ist eine einfache Möglichkeit zum Nachrüsten einer bereits installierten Strebe am Hubschrauber.

Eine solche Anordnung ermöglicht es, die vom Hauptgetriebe ausgehenden Vibrationen gegenüber der Zellenstruktur des Cockpits eines Hubschraubers in effizienter Weise für den Piloten und die Passagiere spürbar zu reduzieren.

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Dehnungsaktuator zur Vibrationsreduzierung in Strukturen, dadurch gekennzeichnet, dass der Dehnungsaktuator (1) einen Piezostapel 2 aus d33-Piezoelementen aufweist, der zwischen Abtriebs-elementen (4) aufgenommen ist, die auf der Oberfläche der Struktur (7) befestigt sind.
2. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf den Piezostapel (2) mittels eines Vorspannelementes (6) eine mechanische Druckspannung ausgeübt ist.
3. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorspannelement (6) aus einer oder mehreren mechanischen Zugfedern besteht.
4. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorspannelement (6) aus elastischen Endplatten (3) besteht, die den in die Abtriebs-elemente (4) unter Druck eingesetzten Piezostapel (2) begrenzen.
5. Dehnungsaktuator nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in den Dehnungsaktuator (1) eine Hubübersetzung integriert ist.
6. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzielung der Hubübersetzung in den Abtriebs-elementen (4) ein nach innen einseitig offener, parallel zur Oberfläche der Struktur (7) verlaufender Schlitz (9) und jeweils ein biege-weicher Drucksteg (8) zwischen den End-

platten (3) des Piezostapels (2) und den Abtriebsflächen (5) der Abtriebselemente (4) integriert ist.

7. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzielung der Hubübersetzung die Abtriebselemente (4) jeweils mit einem gelenkig gelagerten Hebel (12) ausgebildet sind, dass nach einem ersten Hebelabschnitt (13) der Piezostapel (2) mit einem Abtriebssteg (14) jeweils gelenkig gelagert an den Hebel (12) angreift und dass nach einem zweiten Hebelabschnitt (15) jeweils die Abstützstange (11) gelenkig gelagert an den Hebel (12) angreift.

8. Piezoelektrischer Dehnungsaktuator zur Vibrationsreduzierung in Strukturen, wobei mindestens ein Piezoaktuator an einer Strebe angeordnet ist, die das Hauptgetriebe eines Hubschrauberrotors mit einer Zellenstruktur des Cockpits verbindet, und der Piezoaktuator an einem Abschnitt der Strebe eine steuerbare Kraft zur elastischen Formänderung dieses Abschnittes der Strebe einleitet, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezoaktuator (17, 170; 34) mindestens einen Piezostapel (22, 220; 31, 32, 33) aus d33-Piezoelementen aufweist, der zwischen Abtriebselementen (18, 19, 180, 190; 35, 36) aufgenommen ist, die auf der Oberfläche der Strebe (16; 30) befestigt sind, wobei die Aufsetzfläche (23, 24, 230, 240; 370, 380) eines Abtriebselements auf der Strebe gegenüber der entsprechenden Endplatte des Piezostapels (22, 220; 31, 32, 33) in axialer Richtung (X) beabstandet ist.

9. Dehnungsaktuator nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtriebselement (18, 19, 180, 190; 35, 36) von seiner Anordnung an einer Endplatte bis zum Ort der Krafteinleitung einen Hebelarm (E, F) ausbildet.

10. Dehnungsaktuator nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (D) der Aufsetzflächen (23, 24, 230, 240) der Abtriebselemente (18, 19, 180, 190) veränderlich einstellbar ist.
- 5 11. Dehnungsaktuator nach einem der Ansprüche 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Manschette (400) des Abtriebselements (360) Aussparungen (401) aufweist.
- 10 12. Dehnungsaktuator nach einem der Ansprüche 8, 9, 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtriebselement in einer Umfangsrichtung der Strebe aus Teilabtriebselementen zusammensetzbar ist, so dass eine Nachrüstung einer bereits angeordneten Strebe möglich ist.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 26. März 2002 (26.03.02) eingegangen;
ursprüngliche Ansprüche 1 und 5-11 geändert; ursprüngliche Anspruch 12 gestrichen;
alle weiteren Ansprüche unverändert (3 Seiten)]

1. Piezoelektrischer Dehnungsaktuator zur Vibrationsreduzierung in Strukturen, dadurch gekennzeichnet, dass der Dehnungsaktuator (1) einen Piezostapel 2 aus d33-Piezoelementen aufweist, der zwischen Abtriebselementen (4) aufgenommen ist, die auf der Oberfläche der Struktur (7) befestigt sind, wobei in den Dehnungsaktuator (1) eine Hubübersetzung integriert ist.
2. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf den Piezostapel (2) mittels eines Vorspannelementes (6) eine mechanische Druckspannung ausgeübt ist.
3. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorspannelement (6) aus einer oder mehreren mechanischen Zugfedern besteht.
4. Dehnungsaktuator nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorspannelement (6) aus elastischen Endplatten (3) besteht, die den in die Abtriebselemente (4) unter Druck eingesetzten Piezostapel (2) begrenzen.
5. Dehnungsaktuator nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzielung der Hubübersetzung in den Abtriebselementen (4) ein nach innen einseitig offener, parallel zur Oberfläche der Struktur (7) verlaufender Schlitz (9) und jeweils ein biegeweicher Drucksteg (8) zwischen den Endplatten (3) des Piezostapels (2) und den Abtriebsflächen (5) der Abtriebselemente (4) integriert ist.

6. Dehnungsaktuator nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzielung der Hubübersetzung die Abtriebselemente (4) jeweils mit einem gelenkig gelagerten Hebel (12) ausgebildet sind, dass nach einem ersten Hebelabschnitt (13) der Piezostapel (2) mit einem Abtriebssteg (14) jeweils gelenkig gelagert an den Hebel (12) angreift und dass nach einem zweiten Hebelabschnitt (15) jeweils die Abstützstange (11) gelenkig gelagert an den Hebel (12) angreift.
7. Piezoelektrischer Dehnungsaktuator zur Vibrationsreduzierung in Strukturen, wobei mindestens ein Piezoaktuator an einer Strebe angeordnet ist, die das Hauptgetriebe eines Hubschrauberrotors mit einer Zellenstruktur des Cockpits verbindet, und der Piezoaktuator an einem Abschnitt der Strebe eine steuerbare Kraft zur elastischen Formänderung dieses Abschnittes der Strebe einleitet, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezoaktuator (17, 170; 34) mindestens einen Piezostapel (22, 220; 31, 32, 33) aus d33-Piezoelementen aufweist, der zwischen Abtriebselementen (18, 19, 180, 190; 35, 36) aufgenommen ist, die auf der Oberfläche der Strebe (16; 30) befestigt sind, wobei die Aufsetzfläche (23, 24, 230, 240; 370, 380) eines Abtriebselements auf der Strebe gegenüber der entsprechenden Endplatte des Piezostapels (22, 220; 31, 32, 33) in axialer Richtung (X) beabstandet ist.
8. Dehnungsaktuator nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtriebselement (18, 19, 180, 190; 35, 36) von seiner Anordnung an einer Endplatte bis zum Ort der Krafteinleitung einen Hebelarm (E, F) ausbildet.
9. Dehnungsaktuator nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (D) der Aufsetzflächen (23, 24, 230, 240) der Abtriebselemente (18, 19, 180, 190) veränderlich einstellbar ist.

10. Dehnungsaktuator nach einem der Ansprüche 7, 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Manschette (400) des Abtriebslements (360) Aussparungen (401) aufweist.

5 11. Dehnungsaktuator nach einem der Ansprüche 7, 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtriebslement in einer Umfangsrichtung der Strebe aus Teilabtriebslementen zusammensetzbar ist, so dass eine Nachrüstung einer bereits angeordneten Strebe möglich ist.

10

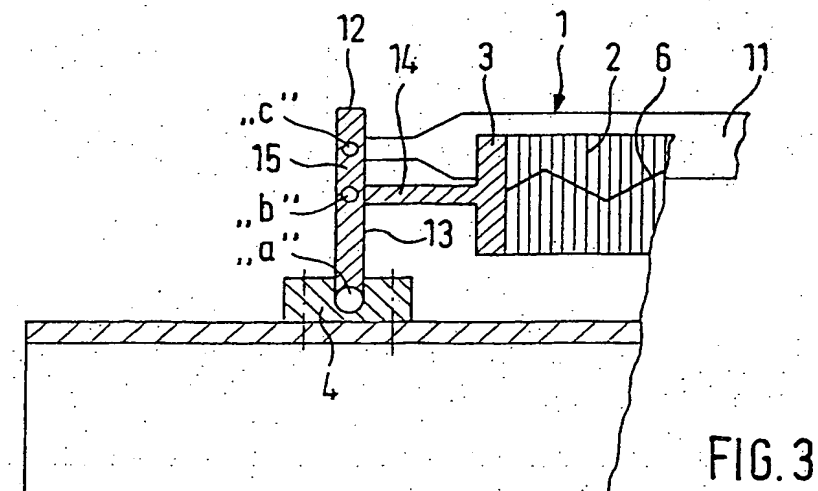
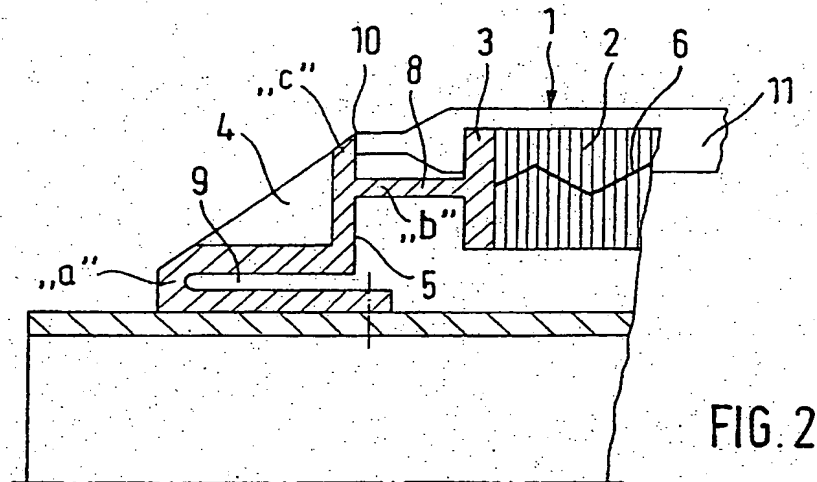
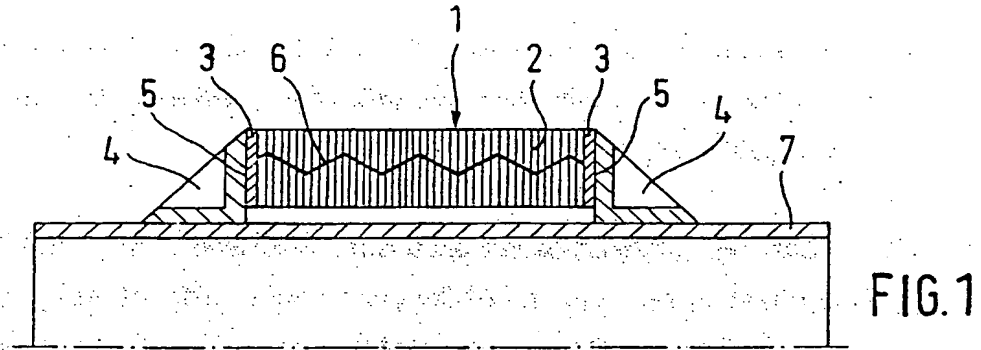


FIG. 4

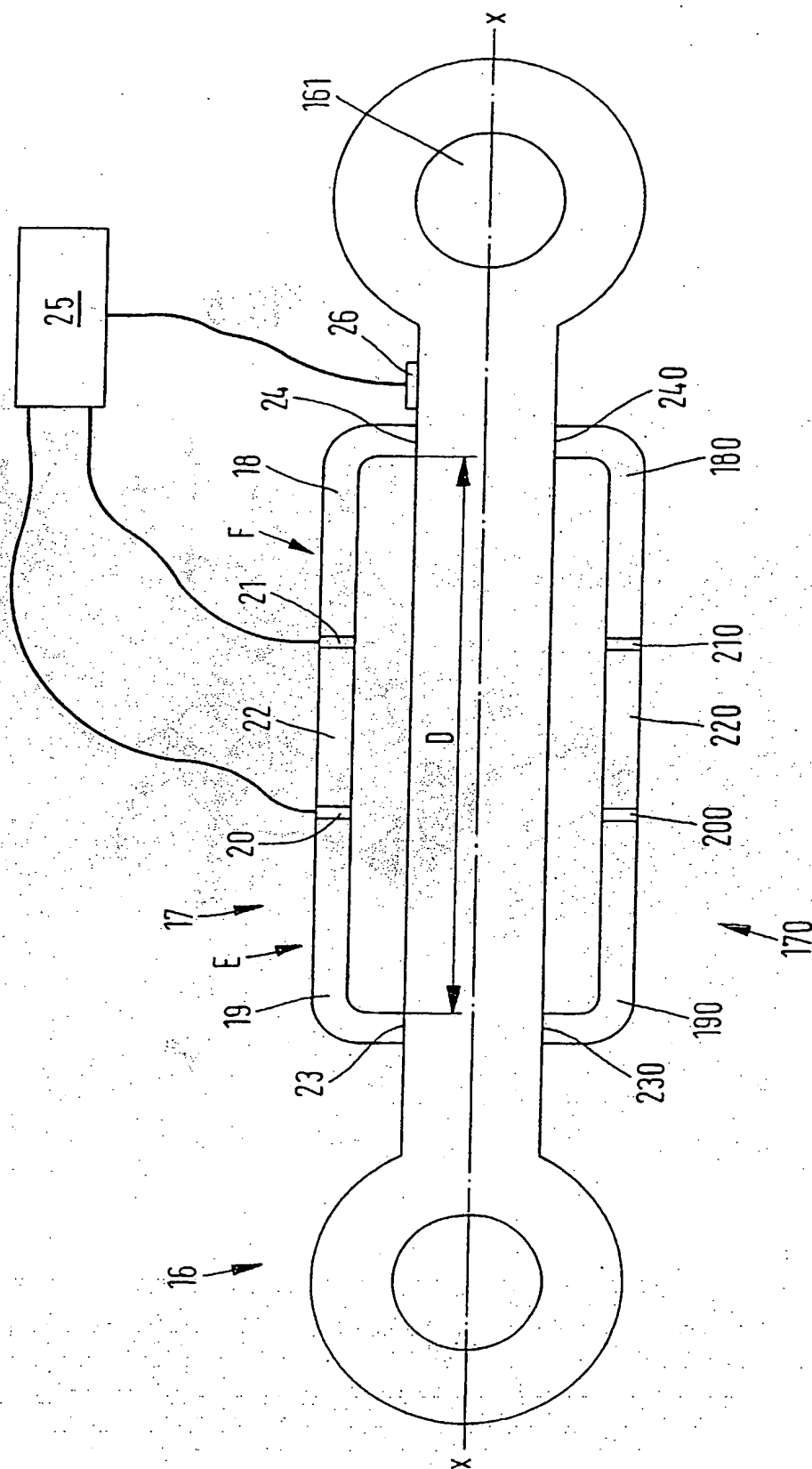
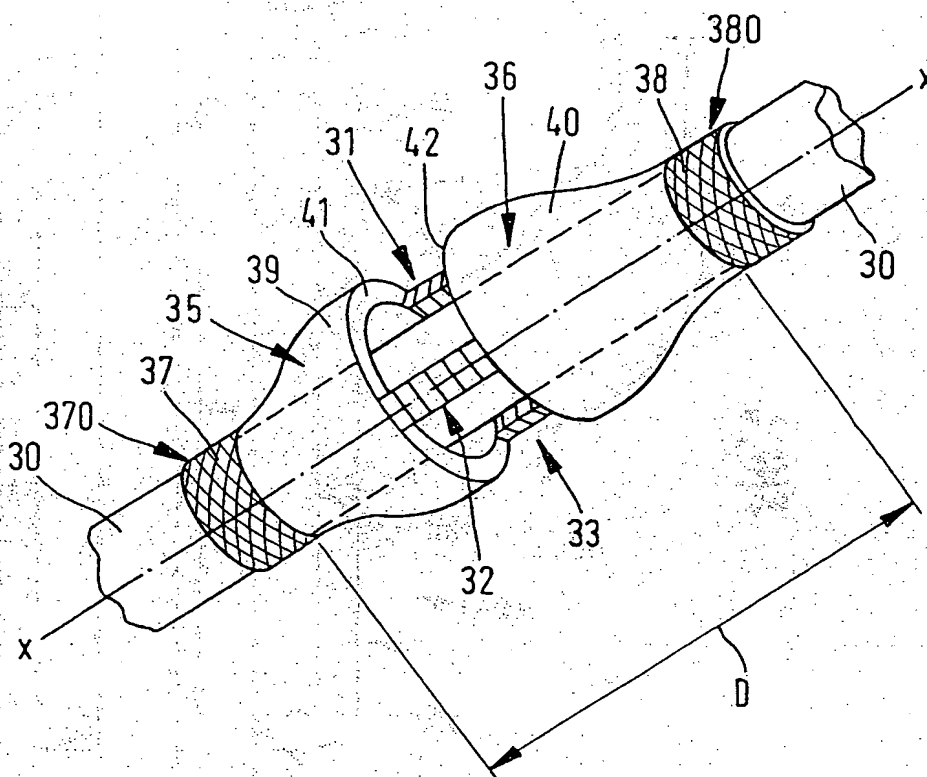


FIG. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte Application No

PC1/er 01/11360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F16F15/00 B64C27/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F16F H01L B64C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| X | EP 0 926 387 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 30 June 1999 (1999-06-30) figure 21 paragraphs '0056!-'0058! | 1,2 |
| A | --- | 8 |
| A | US 5 913 955 A (SMITH DAVID A ET AL) 22 June 1999 (1999-06-22) figure 4 column 5, line 51 - line 64 | 1,8 |
| A | WO 92 05592 A (MOTOROLA INC) 2 April 1992 (1992-04-02) figures 8,9 | 5 |
| | --- -/- | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

*** Special categories of cited documents:**

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 January 2002

Date of mailing of the international search report

30/01/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Beaumont, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter al Application No
PCT/EP 01/11360

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| P, A | DE 199 25 982 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 21 December 2000 (2000-12-21) figures 3,6 column 6, line 29 - line 52 ----- | 1-4 |
| A | DE 198 13 959 A (EUROCOPTER DEUTSCHLAND) 30 September 1999 (1999-09-30) cited in the application ----- | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Application No
PCT/EP 01/11360

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 0926387 | A | 30-06-1999 | EP 0926387 A2 | 30-06-1999 |
| | | | JP 11247605 A | 14-09-1999 |
| | | | US 6299410 B1 | 09-10-2001 |
| US 5913955 | A | 22-06-1999 | NONE | |
| WO 9205592 | A | 02-04-1992 | EP 0551328 A1 | 21-07-1993 |
| | | | JP 6501141 T | 27-01-1994 |
| | | | KR 9608580 B1 | 28-06-1996 |
| | | | TW 394454 Y | 11-06-2000 |
| | | | US 5353621 A | 11-10-1994 |
| | | | WO 9205592 A1 | 02-04-1992 |
| DE 19925982 | A | 21-12-2000 | DE 19925982 A1 | 21-12-2000 |
| DE 19813959 | A | 30-09-1999 | DE 19813959 A1 | 30-09-1999 |
| | | | FR 2776815 A1 | 01-10-1999 |
| | | | IT MI990398 A1 | 28-09-1999 |

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Inte ales Aktenzeichen
PCT/EP 01/11360

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F16F15/00 B64C27/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F16F H01L B64C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X | EP 0 926 387 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 30. Juni 1999 (1999-06-30) Abbildung 21 Absätze '0056!-'0058! | 1,2 |
| A | --- | 8 |
| A | US 5 913 955 A (SMITH DAVID A ET AL) 22. Juni 1999 (1999-06-22) Abbildung 4 Spalte 5, Zeile 51 - Zeile 64 | 1,8 |
| A | WO 92 05592 A (MOTOROLA INC) 2. April 1992 (1992-04-02) Abbildungen 8,9 | 5 |
| | --- | |
| | ---/--- | |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Januar 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts


30/01/2002

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Beaumont, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter  des Aktenzeichen
PCi/Er 01/11360

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| P,A | DE 199 25 982 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 21. Dezember 2000 (2000-12-21) Abbildungen 3,6 Spalte 6, Zeile 29 - Zeile 52 ---- | 1-4 |
| A | DE 198 13 959 A (EUROCOPTER DEUTSCHLAND) 30. September 1999 (1999-09-30) in der Anmeldung erwähnt ----- | |

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung die zur selben Patentfamilie gehören

Inter s Aktenzeichen
PCI/EP 01/11360

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 0926387 | A | 30-06-1999 | EP 0926387 A2 | 30-06-1999 |
| | | | JP 11247605 A | 14-09-1999 |
| | | | US 6299410 B1 | 09-10-2001 |
| US 5913955 | A | 22-06-1999 | KEINE | |
| WO 9205592 | A | 02-04-1992 | EP 0551328 A1 | 21-07-1993 |
| | | | JP 6501141 T | 27-01-1994 |
| | | | KR 9608580 B1 | 28-06-1996 |
| | | | TW 394454 Y | 11-06-2000 |
| | | | US 5353621 A | 11-10-1994 |
| | | | WO 9205592 A1 | 02-04-1992 |
| DE 19925982 | A | 21-12-2000 | DE 19925982 A1 | 21-12-2000 |
| DE 19813959 | A | 30-09-1999 | DE 19813959 A1 | 30-09-1999 |
| | | | FR 2776815 A1 | 01-10-1999 |
| | | | IT MI990398 A1 | 28-09-1999 |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.